

3. Горлушкина Н.Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 120 с.
4. Коцюба И.Ю., Чунаев А.В., Шиков А.Н. Основы проектирования информационных систем. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 206 с.
5. Стасышин В.М. Проектирование информационных систем и баз данных: учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2012. – 100 с.
6. Столбовский Д.Н. Основы разработки web-приложений на ASP.NET. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2009. – 304 с.
7. Сычев А.В. Перспективные технологии и языки веб-разработки. – М: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. – 494 с.
8. ASP. NET Core MVC с примерами на C# для профессионалов/Адам Фримен. – Альфа-книга, 2017. – 992с.
9. Грекул В.И., Денищенко Г.Н., Коровкина Н.Л. Проектирование информационных систем: учебное пособие / 2-е изд., испр. – М.: Интернет-Университет информационных технологий (ИНТУИТ.РУ): БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 299 с.

УДК 004.94

А. А. Першин, Д. А. Чащина

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПО РАСЧЕТУ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ МНОГОСЛОЙНУЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ СТЕНКУ ПЕЧИ

Аннотация

Представлено описание информационно-моделирующей системы, основной задачей которой является расчет потерь теплоты через многослойную цилиндрическую стенку печи. Отражены основные этапы разработки программного обеспечения: постановка задачи, реализация тестового варианта расчета и проверки методики расчета в электронных таблицах Microsoft Excel; разработка архитектуры информационной системы; проектирование, реализация программного средства (математической библиотеки и пользовательского интерфейса); обработка исключительных ситуаций в программе; разработка системы автоматизированного тестирования для проверки корректности расчетов; создание справочной документации; подготовка дистрибутива; формирование отчета с результатами расчета с возможностью его предварительного просмотра и экспорта во внешние форматы.

Ключевые слова: *металлургическая печь, расчет, цилиндрическая стенка, потери теплоты, программирование, программное обеспечение, архитектура, интерфейс, математическая библиотека.*

Abstract

The description of the information-modeling system is presented, the main functions of which are calculation of heat loss through a multi-layered cylindrical wall of the furnace. The main stages

of software development are reflected: statement of the task, implementation of the test version of calculation and verification of the calculation methodology in Microsoft Excel spreadsheets; development of information system architecture; design, implementation of software (mathematical library and user interface); exception handling in the program; the development of an automated testing system to verify the correctness of calculations; creation of reference documentation; preparation of the distribution; Forming a report with calculation results with the possibility of previewing it and exporting it to external formats.

Key words: metallurgical furnace, calculation, cylindrical wall, heat loss, programming, software, architecture, interface, mathematical library.

Введение. Под термином теплопередача понимают процесс передачи теплоты между двумя средами через непроницаемую стенку любой геометрической формы в стационарном и нестационарном режимах теплообмена.

Многие промышленные печи имеют цилиндрическую форму, например, барабанные вращающиеся, печи кипящего слоя, тигельные печи для плавки цветных металлов, муфельные печи твердосплавной промышленности и др. Причем их поперечные размеры могут изменяться в достаточно широких пределах [1, 2].

Физическая постановка задачи. Расчет потерь теплоты через многослойную цилиндрическую стенку печи является более сложной задачей, чем расчет потерь теплоты через плоскую стенку. Это связано с тем, что по мере удаления от оси размеры цилиндрической поверхности увеличиваются и, соответственно, плотность теплового потока q будет уменьшаться, т.е. последняя является величиной переменной, зависящей от радиуса цилиндра.

Для расчета применяются методы математического моделирования, что позволяет решать следующие задачи:

– определение погонной плотности теплового потока. Для стенки, состоящей из двух слоев, определяется по формуле:

$$q_1 = \frac{(t_1 - t_3)2\pi}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2}}, \quad (1)$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности материала первой стенки, Вт/(м*К);

λ_2 – коэффициент теплопроводности материала второй стенки, Вт/(м*К);

r_1 – внутренний радиус первой стенки, м;

r_2 – внешний радиус первой стенки, м;

t_1 – температура внутренней поверхности, °С;

t_3 – температура между второй и третьей стенками поверхности, °С.

При другом количестве слоев расчеты производятся аналогично.

– определение потерь теплоты через всю цилиндрическую стенку определенной длины

$$Q = q_1 * l, \quad (2)$$

где l – длина печи, м;

– определение температуры между слоями и на поверхности многослойной стенки. Например, температура между первым и вторым слоем определяется по формуле:

$$t_2 = \frac{t_1 - (q_1 * \ln \frac{r_2}{r_1})}{2\pi * \lambda_1}. \quad (3)$$

Для случаев определения температуры между другими слоями, расчеты производятся аналогично [1, 2].

Проектирование и реализация программного обеспечения

Формализация алгоритма расчета. Для формализации и проверки методики расчета в пакете Microsoft Excel создан файл, где выделяются исходные данные, нормативно-справочная информация (НСИ) и расчетные показатели (рис. 1).

Разработка архитектуры системы. В процессе решения поставленной задачи необходимо спроектировать архитектуру информационной системы (рис. 2). Основными компонентами программного обеспечения являются: математическая библиотека в виде dll-файла и графический пользовательский интерфейс.

Математическая библиотека реализована в проекте библиотеке классов на языке программирования C# в среде разработки Visual Studio. Алгоритм расчета в математической библиотеке реализуется на основе Excel-файла, DFD-диаграмм и спецификации.

Переменная	Исходные данные	Результат	Единицы измерения
t1	Температура внутренней поверхности, С	1100	С°
t6	Температура наружной поверхности, С	70	С°
r1	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	1,38	м
r2	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	1,5	м
r3	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	1,8	м
r4	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	1,93	м
r5	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	2,03	м
r6	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	2,16	м
λ1	Коэффициенты теплопроводности материалов	1,05	Вт м * К
λ2	Коэффициенты теплопроводности материалов	0,9	Вт м * К
λ3	Коэффициенты теплопроводности материалов	0,5	Вт м * К
λ4	Коэффициенты теплопроводности материалов	0,21	Вт м * К
λ5	Коэффициенты теплопроводности материалов	0,1	Вт м * К
l	Длина печи	3,11	м
Переменная	Расчетные данные	Результат	Единицы измерения
q1	Погонная плотность теплового потока	5045,23	Вт м²
Q	Потери теплоты через всю стенку	15690,66	Дж
t2	температура между 1и2, С	1036,24	С°
t3	температура между 2и3, С	873,57	С°
t4	температура между 3и4, С	761,58	С°
t5	температура между 4и5, С	568,42	С°

Рис. 1. Фрагменты таблицы с реализацией задачи в Microsoft Excel

Разработка блок-схемы работы пользователя с программой. Блок-схема – графическое представление алгоритма. Она состоит из функциональных блоков, которые выполняют различные назначения (ввод/вывод, начало/конец, вызов функции и т.д.).

Пользователь запускает программу. Далее программа предоставляет возможность выбрать тип решаемой задачи. После ввода определённых параметров пользователь может рассчитать нужные величины. Далее ему выдаётся результат расчётов в текстовом и графическом виде.

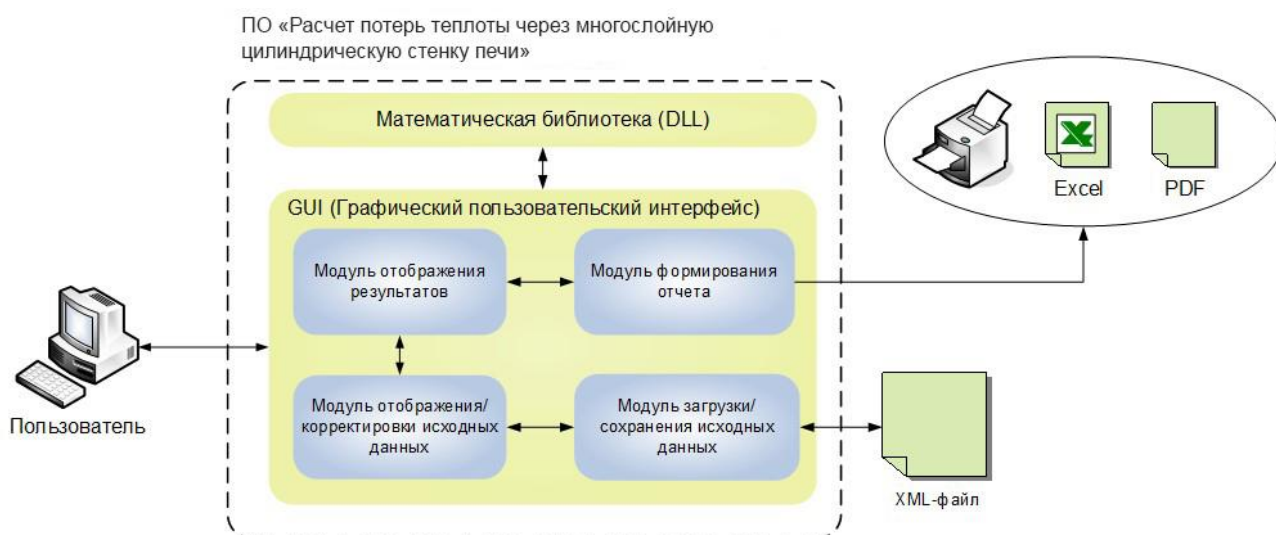


Рис. 2. Архитектура программного обеспечения
«Расчет потерь теплоты через многослойную цилиндрическую стенку печи»

Реализация пользовательского интерфейса. Пользовательский интерфейс – это набор программных и аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие пользователя с компьютером. Основу такого взаимодействия составляют диалоги. Под диалогом в данном случае понимают регламентированный обмен информацией между человеком и компьютером, осуществляемый в реальном масштабе времени и направленный на совместное решение конкретной задачи. Каждый диалог состоит из отдельных процессов ввода/вывода, которые физически обеспечивают связь пользователя и компьютера. Обмен информацией осуществляется передачей сообщения. Реализация пользовательского интерфейса выполнена на языке программирования C# на базе проекта Windows Forms.

Обработка исключительных ситуаций. Иногда при выполнении программы возникают ошибки, которые трудно предусмотреть или предвидеть, а иногда и вовсе невозможно. Например, отсутствие математической библиотеки в сборке или невозможность сохранения файла с исходными данными на диске. Такие ситуации называются исключениями. В программном обеспечении реализован контроль корректности вводимых исходных данных, а также обработка нештатных исключительных ситуаций

Создание методического пособия и формирование отчета с результатами расчета. Методические пособия сообщают нам сведения, побуждающие принимать определенные решения, т.е. инициируют управленческие решения, позволяют выбрать тот или иной способ управленческого воздействия [3, 4].

Разработка системы автоматизированного тестирования математической библиотеки

Автоматизация тестирования – это использование программного обеспечения для выполнения или поддержки тестирования, тест-дизайна, выполнения тестов, анализа результатов выполнения тестов и т.д. Автоматизация тестирования – это не только и не просто выполнение автоматических тестов, а еще написание и использование скриптов для анализа

результатов, а также подготовки тестовых данных, т.е. автоматизация всех рутинных и повторяющихся задач для облегчения процесса тестирования.

Тестирование библиотеки выполнено в открытой среде модульного тестирования приложений NUnit [3].

Описание программного обеспечения

Установка и настройка программного средства. Компьютер является универсальной машиной для решения любых производственных задач. С помощью современного ПК можно рисовать эскизы, создавать макеты и чертежи, производить сложнейшие расчеты, оперативно связываться со всеми контрагентами, редактировать любые виды данных и многое другое.

Однако функциональность компьютера в огромной степени зависит от установленных на нем программ. Установка программ особенно важна для каждого пользователя. В современном мире любой компьютер работает с помощью операционной системы. Без этого программного обеспечения никакие действия на ПК невозможны.

Функциональные возможности программного продукта. Данная характеристика описывает свойства ПО в части полноты удовлетворения требований пользователя и в этом смысле является определяющей для потребительских свойств ПО, в то время как остальные характеристики носят более технический характер, что не уменьшает их значение при оценке качества ПО. Кроме того, эти характеристики (такие как надежность, эффективность и др.) могут входить в число требований пользователя.

Функциональные возможности программы:

- загрузка и сохранение исходных данных;
- корректировка исходных данных;
- отображение результатов в численном и графическом вариантах;
- формирование отчета;
- возможность просмотра методических материалов.

На рисунке 3 представлена главная форма пользовательского интерфейса с вводимыми исходными данными и результатами расчета.

Результаты расчетов программы:

- расчет погонной плотности теплового потока, т.е. теплового потока, приходящегося на единицу длины стенки (для случая со стенкой, содержащей несколько слоев);
- определение потерь теплоты через всю стенку цилиндрической формы;
- расчет значения температур на границе слоев;

На рисунке 4 представлена форма с отчетом в формате .xlsx о результате расчета. Программа предоставляет возможность предварительного просмотра отчета и экспорта во внешние форматы.

Выводы. Спроектирована и разработана информационно-моделирующая система для расчета потерь теплоты через многослойную цилиндрическую стенку металлургических печей. Она предназначена для расчета погонной плотности теплового потока и определения температур на границе слоев как при проектировании новых печей, так и при анализе тепловой работы или модернизации существующих агрегатов.

Расчет теплопроводности многослойной цилиндрической стенки

Выберите количество стенок

Температура внутренней поверхности, С 1100

Температура между 1 и 2 стенкой (Т2) 1036,24

Температура между 2 и 3 стенкой (Т3) 896,81

Температура между 3 и 4 стенкой (Т4) 843,48

Температура между 4 и 5 стенкой (Т5) 804,85

Температура наружной поверхности, С 70

R1 1,38

R2 1,5

R3 1,8

R4 1,93

R5 2,03

R6 2,16

Длина печи (L), м 3,11

Потери теплоты через всю стенку 5045,23

Погонная плотность теплового потока, Вт/м² 15690,66

Коэффициенты теплопроводности материалов Вт/(м*К)

для 1 стенки 1,05

для 2 стенки 0,9

для 3 стенки 0,5

для 4 стенки 0,21

для 5 стенки 0,1

Методический материал

Отчет

Расчитать

Рис. 3. Пользовательский интерфейс

Переменная	Определение	Результат	Единицы измерения
Расчетные показатели для цилиндрической стенки, содержащей пять слоев.			
t1	Температура внутренней поверхности, С	1100	С°
t6	Температура наружной поверхности, С	70	С°
r1	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	1,38	м
r2	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	1,5	м
r3	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	1,8	м
r4	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	1,93	м
r5	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	2,03	м
r6	Радиус характеризующий расположения слоя футеровки относительно оси цилиндра	2,16	м
λ1	Коэффициенты теплопроводности материалов	1,05	Вт м * К
λ2	Коэффициенты теплопроводности материалов	0,9	Вт м * К
λ3	Коэффициенты теплопроводности материалов	0,5	Вт м * К
λ4	Коэффициенты теплопроводности материалов	0,21	Вт м * К
λ5	Коэффициенты теплопроводности материалов	0,1	Вт м * К
l	Длина печи	3,11	м
q	Погонная плотность теплового потока	5045,23	Вт м ²
Q	Потери теплоты через всю стенку	15690,66	Дж
t2	температура между 1и2, С	1036,24	С°
t3	температура между 2и3, С	873,57	С°
t4	температура между 3и4, С	761,58	С°
t5	температура между 4и5, С	568,42	С°

Рис. 4. Отчет с результатами расчета

Список использованных источников

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М.: «Энергия», 1977. – 344 с.
2. Тарасов В.П. Загрузочные устройства шахтных печей: учеб. – М.: «Металлургия», 1974. – 312 с.
3. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.0 на языке C#. – СПб.: Питер, 2012. – 928 с.
4. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения: учеб. / С.А. Орлов. – СПб.: Питер, 2002. – 464 с.